



IN THE  
UNITED STATES  
PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IFW\$

IN RE APPLICATION OF: Mecking, et al.

CASE: OST-041109

SERIAL NO.: 10/709,098

FILED ON: April 13, 2004

FOR: METHOD FOR IMPROVING  
THE IMAGING PROPERTIES OF  
AT LEAST TWO OPTICAL  
ELEMENTS AND  
PHOTOLITHOGRAPHIC  
FABRICATION METHOD

PETITION FOR LATE  
ENTRY OF  
PRIORITY CLAIM  
AND/OR PRIORITY  
PAPERS UNDER 37  
C.F.R. §1.55(a)

COMMISSIONER FOR PATENTS  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

ATTENTION OF:  
Art Unit 2873  
EXAMINER:  
Dinh, Jack

If any charges or fees must be paid in connection with the following communication, they may be paid out of our Deposit Account No. 50-0545.

Dear Commissioner:

Applicant petitions for entry of the following accompanying papers with respect to the priority claim in this case being made after payment of the issue fee on July 6, 2005.

In addition, enclosed is the certified copy of the priority document, namely European Patent Application No. PCT/EP02/11030, filed October 2, 2002, along with the appropriate fee of \$130.00.

08/31/2005 MAHME1 00000021 10709098

01 FC:1464

130.00 OP

FACTOR & LAKE, LTD.  
1327 W. Washington Blvd.  
Suite 5 G/H  
Chicago, IL 60607  
(312) 226-1818  
(312) 226-1919 (fax)

Jody L. Factor	34157
Micheal D. Lake	33727
Edward L. Bishop	39110
William J. Lenz	44208
Joseph M. Kinsella Jr.	45743
Jacob D. Koering	51890
Nick Lee	54260

Should anything further be required, a telephone call to the undersigned at (312) 226-1818 is respectfully invited.

Respectfully submitted,

FACTOR & LAKE, LTD.

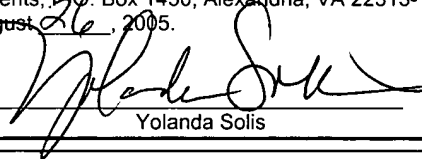


Edward L. Bishop  
One of Attorneys for Applicant

Dated: August 26, 2005

**CERTIFICATE OF FIRST CLASS MAILING**

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on August 26, 2005.

  
Yolanda Solis

Europäisches  
Patentamt

European Patent  
Office

Office européen  
des brevets



### Bescheinigung

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten internationalen Patentanmeldung überein.

### Certificate

The attached documents are exact copies of the international patent application described on the following page, as originally filed

### Attestation

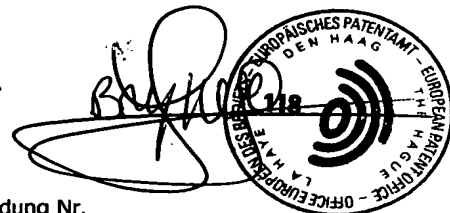
Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet internationale spécifiée à la page suivante.

Den Haag, den  
The Hague,  
La Haye, le

11.08.2005

Der Präsident des Europäischen Patentamts, i.A.  
For the President of the European Patent Office  
Le Président de l'Office européen des brevets, p.o.

BRYNER, Yocline



Patentanmeldung Nr.  
Patent application no.  
Demande de brevet n°

PCT/EP02/11030



**Blatt 2 der Bescheinigung**  
**Sheet 2 of the certificate**  
**Page 2 de l'attestation**

---

Anmeldenummer :  
Application no. : PCT/EP02/11030  
Demande n° :

Anmelder : 1. Carl Zeiss Semiconductor Manufacturing Technologies AG -  
Applicant(s) : Oberkochen, Deutschland  
Demandeur(s) : 2. MECKING, Birgit - Aalen, Deutschland (nur US)

Bezeichnung der Erfindung :  
Title of the invention : Verfahren zur Optimierung der Abbildungseigenschaften von mindestens  
Titre d'invention : zwei optischen Elementen sowie photolithographisches Fertigungsverfahren

Anmeldetag :  
Date of filing : 02. Oktober 2002 (02.10.2002)  
Date de dépôt :

In Anspruch genommene Priorität(e) :  
Priority(ies) claimed :  
Priorité(s) revendiquée(s) :

Staat	:	Tag	:	Aktenzeichen	:
State	:	DE	Date	:	20. Dezember 2001
Pays	:	Date	:	File no.	:
				Numéro de dépôt	:

Benennung von Vertragsstaaten : Siehe Formblatt PCT/RO/101 (beigefügt)  
Designation of contracting states : See Form PCT/RO/101 (enclosed)  
Désignation d'états contractants : Voir Formulaire PCT/RO/101 (ci-joint)

Bemerkungen :  
Remarks : Weitere Anmelder:  
Remarques :  
3. GRUNER, Toralf - Königsbronn, Deutschland (nur US)  
4. KOHL, Alexander - Aalen, Deutschland (nur US)

## Feld Nr. V BESTIMMUNG VON STAATEN

Bitte die entsprechenden Kästchen ankreuzen; wenigstens ein Kästchen muß angekreuzt werden

Die folgenden Bestimmungen nach Regel 4.9 Absatz a werden hiermit vorgenommen:

## Regionales Patent

- ☒ **AP ARIPO-Patent:** GH Ghana, GM Gambia, KE Kenia, LS Lesotho, MW Malawi, MZ Mosambik, SD Sierra Leone, SZ Swasiland, TZ Vereinigte Republik Tansania, UG Uganda, ZM Sambia, ZW Simbabwe und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Harare-Protokolls und des PCT ist (falls eine andere Schutzrechtsart oder ein sonstiges Verfahren gewünscht wird, bitte auf der gepunkteten Linie angeben) .....
- ☒ **EA Eurasisches Patent:** AM Armenien, AZ Aserbaidschan, BY Belarus, KG Kirgisistan, KZ Kasachstan, MD Republik Moldau, RU Russische Föderation, TJ Tadschikistan, TM Turkmenistan und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Eurasischen Patentübereinkommens und des PCT ist
- ☒ **EP Europäisches Patent:** AT Österreich, BE Belgien, BG Bulgarien, CH & LI Schweiz und Liechtenstein, CY Zypern, CZ Tschechische Republik, DE Deutschland, DK Dänemark, EE Estland, ES Spanien, FI Finnland, FR Frankreich, GB Vereinigtes Königreich, GR Griechenland, IE Irland, IT Italien, LU Luxemburg, MC Monaco, NL Niederlande, PT Portugal, SE Schweden, SK Slowakei, TR Türkei und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Europäischen Patentübereinkommens und des PCT ist
- ☒ **OA OAPI-Patent:** BF Burkina Faso, BJ Benin, CF Zentralafrikanische Republik, CG Kongo, CI Côte d'Ivoire, CM Kamerun, GA Gabun, GN Guinea, GQ Äquatorialguinea, GW Guinea-Bissau, ML Mali, MR Mauretanien, NE Niger, SN Senegal, TD Tschad, TG Togo und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat der OAPI und des PCT ist (falls eine andere Schutzrechtsart oder ein sonstiges Verfahren gewünscht wird, bitte auf der gepunkteten Linie angeben) .....

Nationales Patent (falls eine andere Schutzrechtsart oder ein sonstiges Verfahren gewünscht wird, bitte auf der gepunkteten Linie angeben)

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> AE Vereinigte Arabische Emirate   | <input checked="" type="checkbox"/> GM Gambia  | <input checked="" type="checkbox"/> NZ Neuseeland                     |
| <input checked="" type="checkbox"/> AG Antigua und Barbuda            | <input checked="" type="checkbox"/> HR Kroatien  | <input checked="" type="checkbox"/> OM Oman                           |
| <input checked="" type="checkbox"/> AL Albanien                       | <input checked="" type="checkbox"/> HU Ungarn  | <input checked="" type="checkbox"/> PH Philippinen                    |
| <input checked="" type="checkbox"/> AM Armenien                       | <input checked="" type="checkbox"/> ID Indonesien                                      | <input checked="" type="checkbox"/> PL Polen                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> AT Österreich                     | <input checked="" type="checkbox"/> IL Israel  | <input checked="" type="checkbox"/> PT Portugal                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> AU Australien                     | <input checked="" type="checkbox"/> IN Indien  | <input checked="" type="checkbox"/> RO Rumänien                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> AZ Aserbaidschan                  | <input checked="" type="checkbox"/> IS Island  | <input checked="" type="checkbox"/> RU Russische Föderation           |
| <input checked="" type="checkbox"/> BA Bosnien-Herzegovina            | <input checked="" type="checkbox"/> JP Japan   |   |
| <input checked="" type="checkbox"/> BB Barbados                       | <input checked="" type="checkbox"/> KE Kenia   | <input checked="" type="checkbox"/> SD Sudan                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> BG Bulgarien                      | <input checked="" type="checkbox"/> KG Kirgisistan                                     | <input checked="" type="checkbox"/> SE Schweden                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> BR Brasilien                      | <input checked="" type="checkbox"/> KP Demokratische Volksrepublik Korea               | <input checked="" type="checkbox"/> SG Singapur                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> BY Belarus                        | <input checked="" type="checkbox"/> KR Republik Korea                                  | <input checked="" type="checkbox"/> SI Slowenien                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> BZ Belize                         | <input checked="" type="checkbox"/> KZ Kasachstan                                      | <input checked="" type="checkbox"/> SK Slowakei                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> CA Kanada                         | <input checked="" type="checkbox"/> LC Saint Lucia                                     | <input checked="" type="checkbox"/> SL Sierra Leone                   |
| <input checked="" type="checkbox"/> CH & LI Schweiz und Liechtenstein | <input checked="" type="checkbox"/> LK Sri Lanka                                       | <input checked="" type="checkbox"/> TJ Tadschikistan                  |
| <input checked="" type="checkbox"/> CN China                          | <input checked="" type="checkbox"/> LR Liberia   | <input checked="" type="checkbox"/> TM Turkmenistan                   |
| <input checked="" type="checkbox"/> CO Kolumbien                      | <input checked="" type="checkbox"/> LS Lesotho   | <input checked="" type="checkbox"/> TN Tunesien                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> CR Costa Rica                     | <input checked="" type="checkbox"/> LT Litauen   | <input checked="" type="checkbox"/> TR Türkei                         |
| <input checked="" type="checkbox"/> CU Kuba                           | <input checked="" type="checkbox"/> LU Luxemburg                                       | <input checked="" type="checkbox"/> TT Trinidad und Tobago            |
| <input checked="" type="checkbox"/> CZ Tschechische Republik          | <input checked="" type="checkbox"/> LV Lettland  | <input checked="" type="checkbox"/> TZ Vereinigte Republik Tansania   |
| <input checked="" type="checkbox"/> DE Deutschland                    | <input checked="" type="checkbox"/> MA Marokko   | <input checked="" type="checkbox"/> UA Ukraine                        |
| <input checked="" type="checkbox"/> DK Dänemark                       | <input checked="" type="checkbox"/> MD Republik Moldau                                 | <input checked="" type="checkbox"/> UG Uganda                         |
| <input checked="" type="checkbox"/> DM Dominica                       | <input checked="" type="checkbox"/> MG Madagaskar                                      | <input checked="" type="checkbox"/> US Vereinigte Staaten von Amerika |
| <input checked="" type="checkbox"/> DZ Algerien                       | <input checked="" type="checkbox"/> MK Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien | <input checked="" type="checkbox"/> UZ Usbekistan                     |
| <input checked="" type="checkbox"/> EC Ecuador                        | <input checked="" type="checkbox"/> MN Mongolei  | <input checked="" type="checkbox"/> VN Vietnam                        |
| <input checked="" type="checkbox"/> EE Estland                        | <input checked="" type="checkbox"/> MW Malawi  | <input checked="" type="checkbox"/> YU Jugoslawien                    |
| <input checked="" type="checkbox"/> ES Spanien                        | <input checked="" type="checkbox"/> MX Mexiko  | <input checked="" type="checkbox"/> ZA Südafrika                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> FI Finnland                       | <input checked="" type="checkbox"/> MZ Mosambik  | <input checked="" type="checkbox"/> ZM Sambia                         |
| <input checked="" type="checkbox"/> GB Vereinigtes Königreich         | <input checked="" type="checkbox"/> NO Norwegen  | <input checked="" type="checkbox"/> ZW Simbabwe                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> GD Grenada                        |  |   |
| <input checked="" type="checkbox"/> GE Georgien                       |  |   |
| <input checked="" type="checkbox"/> GH Ghana                          |  |   |

Kästchen für die Bestimmung von Staaten, die dem PCT nach der Veröffentlichung dieses Formblatts beigetreten sind.

- ☐ ..... ☐ ..... ☒ alle weiteren, dem PCT beizutretenden Staaten
- ☐ ..... ☐ ..... ☒ angehörende Vertragsstaaten

**Erklärung bzgl. vorsorglicher Bestimmungen:** Zusätzlich zu den oben genannten Bestimmungen nimmt der Anmelder nach Regel 4.9 Absatz b auch alle anderen nach dem PCT zulässigen Bestimmungen vor mit Ausnahme der im Zusatzfeld genannten Bestimmungen, die von dieser Erklärung ausgenommen sind. Der Anmelder erklärt, daß diese zusätzlichen Bestimmungen unter Vorbehalt einer Bestätigung stehen und jede zusätzliche Bestimmung, die vor Ablauf von 15 Monaten ab dem Prioritätsdatum nicht bestätigt wurde, nach Ablauf dieser Frist als vom Anmelder zurückgenommen gilt. (Die Bestätigung (einschließlich der Gebühren) muß beim Anmeldeamt innerhalb der Frist von 15 Monaten eingehen.)

Verfahren zur Optimierung der Abbildungseigenschaften  
von mindestens zwei optischen Elementen sowie  
05 photolithographisches Fertigungsverfahren

=====

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Optimierung  
der Abbildungseigenschaften von mindestens zwei opti-  
10 schen Elementen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie  
ein photolithographisches Fertigungsverfahren.

Derartige Verfahren sind aus der EP 1 063 684 A1 bekannt.  
Dort wird als polarisationsabhängige Störgröße die Doppel-  
15 brechungsverteilung von Linsen innerhalb eines Projek-  
tionsobjektivs einer Projektionsbelichtungsanlage bestimmt.  
Die Linsen werden dann so ausgewählt und innerhalb des  
Projektionsobjektivs angeordnet, daß sich eine Gesamtdop-  
pelbrechung ergibt, deren Betrag für jeden optischen Weg  
20 durch das Projektionsobjektiv einen vorgegebenen Grenzwert  
unterschreitet. Die Gesamtdoppelbrechung setzt sich hierbei  
zusammen aus der Summe aller Doppelbrechungen der einzelnen  
vermessenen Linsen. Ein derartiges Verfahren ist hilfreich,  
wenn Linsen aufgrund einer nicht tolerierbaren Doppelbre-  
25 chungsverteilung aussortiert werden sollen, führt in der  
Praxis jedoch nicht immer dazu, daß Vorgabewerte für die  
Abbildungseigenschaften der optischen Elemente erreicht  
werden.

30 Ein anderes Optimierungsverfahren ist aus dem Fachartikel  
"The development of microlithographic high-performance  
optics, Int. J. of Optoelec., 1989, 545, bekannt. Bei  
der Optimierung der Abbildungseigenschaften optischer  
Systeme mit optischen Elementen, die aus Kristallmateria-  
35 lien gefertigt sind, führt dieses Verfahren nur dann

zu zufriedenstellenden Ergebnissen, wenn die Kristallmaterialien speziell ausgewählt werden und die optischen Elemente spannungsfrei gehaltert werden. Derartige Maßnahmen sind aufwendig.

05

Es ist daher eine erste Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Optimierungsverfahren der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, dass ein Gesamtabbildungsfehler, der sich aus den Abbildungsfehlern der einzelnen optischen Komponenten zusammensetzt, für die meisten praktischen Anwendungsfälle weiter reduziert werden kann.

10

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren mit den im Anspruch 1 genannten Merkmalen.

15

Das erfindungsgemäße Verfahren stützt sich auf folgende Erkenntnisse:

Zur Gesamtstörgröße tragen in aller Regel polarisationsabhängige und polarisationsunabhängige Störgrößen bei. Polarisationsabhängige Störgrößen können unterteilt werden in intrinsisch vorliegende polarisationsabhängige Störgrößen wie der intrinsischen, also auch bei homogenem und spannungsfreiem Material auftretenden, Doppelbrechung, in aufgrund externer Effekte auftretende polarisationsabhängige Störgrößen wie der Spannungsdoppelbrechung und in aufgrund innerer Materialinhomogenitäten auftretende polarisationsabhängige Störgrößen wie einer Doppelbrechung aufgrund von Kristallfehlern, insbesondere durch die Ausbildung von Domänen im Material.

30

Bisherige Bestimmungsverfahren zur Bestimmung von Abbildungsfehlern optischer Elemente beschränkten sich in der Regel auf polarisationsunabhängige Störgrößen, da für die gebräuchlichen optischen Materialien nur im Ausnahmefall

35

von einer polarisationsabhängigen Störgröße ausgegangen wurde. Diesen polarisationsabhängigen Störgrößen wurde bisher Rechnung getragen, ohne sie in eine Zielpositions-berechnung einzubinden. Dies geschah, wie oben schon  
05 erwähnt, durch Materialauswahl bzw. spezielle Halterung.

Aus der Internet-Publikation "Preliminary Determination of an Intrinsic Birefringence in  $\text{CaF}_2$ " von J. H. Burnett, G. L. Shirley und Z. H. Levine, NIST Gaithersburg MD 20899  
10 USA (verbreitet am 7.5.01), ist jedoch bekannt, dass  $\text{CaF}_2$  Einkristalle auch nicht spannungsinduzierte, also intrinsische Doppelbrechung aufweisen. Dies gilt zum Beispiel für eine Strahlausbreitung in der (110)-Kristallrichtung. Bei einer Strahlausbreitung in der (100)-Kristallrichtung  
15 und in der (111)-Kristallrichtung weist  $\text{CaF}_2$  dagegen keine intrinsische Doppelbrechung auf. Die auftretende Doppelbrechung ist also strahlrichtungsabhängig. Sie kann weder durch Materialauswahl noch durch eine spannungsfreie Halterung eines optischen Elements eliminiert werden.

20 Da  $\text{CaF}_2$  und auch andere Kristallmaterialien mit intrinsischer Doppelbrechung zunehmend als optische Materialien insbesondere in Verbindung mit UV-Lichtquellen eingesetzt werden, führt das Nichtberücksichtigen polarisationsab-  
25 hängiger Störgrößen zu Abbildungsfehlern, die bei den bekannten Optimierungsverfahren nicht erfaßt werden.

Die polarisationsabhängigen Störgrößen führen dazu, dass eine Abbildung von Lichtstrahlen orthogonaler Polari-  
30 sationen an unterschiedlichen Orten erfolgt. Gleichzeitig können Polarisierungseffekte bewirken, daß die einzelnen Polarisationskomponenten unterschiedliche Abbildungsfehler erfahren.

35 Die oben erwähnte EP 1 063 684 A1 berücksichtigt zwar



eine polarisationsabhängige Störgröße, nämlich die Doppelbrechung, läßt aber im Rahmen der Optimierung der Anordnung der optischen Komponenten zueinander andere Störgrößen außer acht, wodurch sich vermeidbare Fehlerbeträge zum  
05 Gesamtabbildungsfehler ergeben können.

Erfindungsgemäß werden sowohl die polarisationsabhängigen als auch die polarisationsunabhängigen Störgrößen bei der Zielpositionsberechnung berücksichtigt. Auf diese  
10 Weise lassen sich die optischen Elemente hinsichtlich ihrer Abbildungseigenschaften präzise und vollständig modellieren.

Die polarisationsabhängige Störgröße gemäß Anspruch  
15 2 berücksichtigt den Einfluss von internen Spannungen in den optischen Materialien. Diese internen Spannungen können etwa beim Herstellungsprozess im Material eingefroren worden sein oder aufgrund der mechanischen Halterung (Fassung) des optischen Elements auftreten. Die  
20 Berücksichtigung der Spannungsdoppelbrechung verbessert die Optimierung der Abbildungseigenschaften auch bei optischen Elementen, die keine intrinsische Spannungsdoppelbrechung aufweisen.

25 Eine Lagebestimmung mindestens einer Kristallachse gemäß Anspruch 3 kann im günstigsten Fall, wenn keine weiteren polarisationsabhängigen Störgrößen vorliegen, eine weitere Messung polarisationabhängiger Störgrößen überflüssig machen, da nach Bestimmung der Kristallachsenlage die  
30 intrinsische Doppelbrechung berechnet werden kann.

Ein relativ einfach, da ohne größere Eingriffe in die Halterung des optischen Elements, realisierbarer Bewegungsfreiheitsgrad ist die Verdrehbarkeit des mindestens  
35 einen optischen Elements gemäß Anspruch 4.

Die Auswirkungen der Verlagerung eines gemäß Anspruch  
5 linear verlagerbaren optischen Elements auf die Abbil-  
dungseigenschaften der mindestens zwei optischen Elemente  
05 lassen sich präzise, z.B. mittels optischer Designprogramme  
vorhersagen, was die Berechnung der Zielposition erleich-  
tert.

Mit einem gemäß Anspruch 6 verlagerbaren optischen Element  
10 lassen sich insbesondere Zentrierungsfehler kompensieren.

Ein gemäß Anspruch 7 verkipppbares optisches Element  
erlaubt z.B. eine Ausrichtung der Kristallachsen des  
optischen Elements relativ zur optischen Achse einer  
15 Gesamtoptik, welche die mindestens zwei optischen Elemente  
umfaßt.

Eine Bestimmung der polarisationsabhängigen Störgröße  
gemäß Anspruch 8 führt dazu, dass auch die Beiträge  
20 der Spannungsdoppelbrechung, die von der Fassung ausgehen  
bei der Bestimmung der polarisationsabhängigen Störgröße  
berücksichtigt werden. Dies erhöht die Präzision des  
Optimierungsverfahrens.

25 Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist  
es, ein photolithographisches Fertigungsverfahren mit  
verbesserter optischer Qualität schaffen.

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch ein Ver-  
30 fahren mit den im Anspruch 9 genannten Merkmalen. Die  
Vorteile des Fertigungsverfahrens ergeben sich aus den  
oben diskutierten Vorteilen des Optimierungsverfahrens.

Bei einer Belichtungswellenlänge gemäß Anspruch 10 liegen  
35 bei vielen optischen Materialien polarisationsabhängige

Störgrößen vor, die die Abbildungseigenschaften optischer Elemente stärker beeinflussen als z.B. bei Belichtung mit sichtbarem Licht. Bei einer Belichtung mit Wellenlängen kleiner als 200 nm kommt daher das erfindungsgemäße  
05 Optimierungsverfahren stark zum Tragen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert; es zeigen:

- 10 Figur 1 eine Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie;
- Figur 2 einen Schnitt durch einen Block eines Einkristalls als Ausgangsmaterial für eine Linse einer Projektionsoptik der Projektionsbelichtungsanlage von  
15 Figur 1;
- Figur 3 eine schematische Darstellung der intrinsischen Doppelbrechung einer aus einem Einkristall  
20 hergestellten optischen Platte der Projektionsoptik der Projektionsbelichtungsanlage von Figur 1;
- Figur 4 ein Koordinatensystem zur Definition eines  
25 Öffnungswinkels und eines Azimutwinkels für Strahlen eines Projektionslichtbündels der Projektionsbelichtungsanlage von Figur 1; und
- Figur 5 den Verlauf der intrinsischen Doppelbrechung der  
30 optischen Platte von Figur 3 in Abhängigkeit vom Azimutwinkel.

Eine in Figur 1 insgesamt mit 1 bezeichnete Projektionsbelichtungsanlage dient zur Übertragung einer Struktur  
35 von einer Maske 2 auf einen in der Figur 1 nicht darge-

stellten Wafer.

Eine Lichtquelle 3, zum Beispiel ein  $F_2$ -Laser bei mit einer Wellenlänge 157nm, erzeugt hierzu ein Projektions-  
05 lichtbündel 4. Dieses durchtritt zur Formung zunächst eine Beleuchtungsoptik 5 und anschließend die Maske 2. Eine Projektionsoptik 6 bildet die auf der Maske 2 vorliegende Struktur auf den Wafer ab.

10 Die Projektionsoptik 6 ist in Figur 1 unterteilt in einen um die optische Achse der Projektionsoptik 6 verdrehbaren Teil 7 und in einen stationären Teil 8. In der Praxis liegen bei der Projektionsoptik 6 oft mehrere verdrehbare Teile vor; zu Zwecken dieser Beschreibung genügt jedoch die  
15 Beschränkung auf nur einen verdrehbaren Teil 7.

Stellvertretend für die optischen Komponenten des verdrehbaren Teils 7 ist in Figur 1 eine bikonvexe Linse 9 und für die optischen Komponenten des stationären Teils 8  
20 eine planparallele optische Platte 10 angedeutet. Die Linse 9 ist zudem, wie in Fig. 1 durch ein kartesisches Koordinatensystem 20 illustriert, sowohl längs der optischen Achse als auch quer zur optischen Achse der Projektionsoptik 6 verlagerbar, sowie, wie durch einen Doppelpfeil 21 in Fig. 1 angedeutet, gegenüber der optischen  
25 Achse der Projektionsoptik 6 verkippbar. Der Doppelpfeil 21 bezeichnet hierbei eine von zwei möglichen und aufeinander senkrecht stehenden Kippbewegungen gegenüber der optischen Achse. Auch andere, in Fig. 1 nicht explizit  
30 dargestellte optische Elemente der Projektionsoptik 6 können die genannten Bewegungsfreiheitsgrade aufweisen.

Zur Vermessung von sich auf die Abbildungseigenschaften der Projektionsoptik 6 auswirkenden Störgrößen ist ein  
35 positionsempfindlicher Sensor 11 vorgesehen. Dieser ist

quer zur optischen Achse der Projektionsoptik 6 zwischen einer in Figur 1 dargestellten Messposition und einer nicht dargestellten, aus dem Strahlengang des Projektionslichtbündels 4 herausverlagerten Projektionsbelichtungsposition verschiebbar (vgl. Doppelpfeil 12 in Fig. 1). Über eine Signalleitung 13 steht der Sensor 11 mit einem Rechner 14 in Verbindung.

Die Linse 9 und die optische Platte 10 sind aus Einkristallen aus  $\text{CaF}_2$  gefertigt, welches eine kubische Kristallsymmetrie aufweist. Zur Herstellung werden diese optischen Elemente 9, 10 aus Kristallblöcken herausgeschnitten und poliert.

Für die Linse 9 ist in Fig. 2 beispielhaft ein solcher Kristallblock 15 dargestellt. Dieser ist so orientiert, dass (100)-Kristallebenen 16 derart senkrecht auf der Zeichenebene stehen, daß ihre Schnittgeraden mit der Zeichenebene horizontal verlaufende Linien ergeben. Die Linse 9 wird aus dem Kristallblock 15 so herausgearbeitet, dass ihre Elementachse EA, d. h. die optische Achse der Linse 9, mit der (100)-Kristallrichtung, die senkrecht auf den (100)-Kristallebenen steht, zusammenfällt.

Auch die optische Platte 10, die isoliert in Fig. 3 dargestellt ist, ist derart orientiert aus einem Kristallblock herausgearbeitet. Dort sind neben der (100)-Kristallrichtung auch die (101)-, (110)-, (10-1)- und (1-10)-Kristallrichtungen als Pfeile dargestellt, wobei das negative Vorzeichen bei der Indizierung der Kristallrichtung in dieser Beschreibung der Bezeichnung "oben quer" in der Zeichnung gleichzusetzen ist. Eine intrinsische Doppelbrechung der optischen Platte 10 ist schematisch durch vier "Keulen" 17 dargestellt, deren Oberflächen den Betrag der intrinsischen Doppelbrechung für die jeweilige

Strahlrichtung eines Lichtstrahls des Projektionslichtbündels 4 (vgl. Figur 1) angeben. Die maximale intrinsische Doppelbrechung der optischen Platte 4 ergibt sich jeweils in den (101)-, (110)-, (10-1) und (1-10)-Kristallrichtungen.

05

Die Strahlrichtung eines Lichtstrahls 18 des Projektionslichtbündels 4 ist durch einen Öffnungswinkel Theta und einen Azimutwinkel Alpha definiert. Die Lage dieser beiden Winkel verdeutlicht Figur 4: Dort ist ein kartesisches  
10 Koordinatensystem der Projektionsbelichtungsanlage 1 gezeigt, dessen z-Achse mit der optischen Achse der Projektionsoptik 6 zusammenfällt. Der Öffnungswinkel Theta ist der Winkel zwischen dem Lichtstrahl 18 und der z-Achse. Der Azimutwinkel Alpha ist der Winkel zwischen der x-Achse  
15 und der Projektion des Lichtstrahls 18 auf die xy-Ebene.

Bei der nachfolgenden Beschreibung sind die optischen Komponenten 9, 10 so orientiert, daß die (100)-Kristallrichtung mit der z-Achse und die Projektion der (101)-  
20 Kristallrichtung auf die xy-Ebene mit der x-Achse zusammenfällt.

Figur 5 zeigt die intrinsische Doppelbrechung (IDB) der optischen Platte 10 in Abhängigkeit vom Azimutwinkel Alpha  
25 für den Öffnungswinkel Theta = 45 Grad. Es ergibt sich eine vierzählige Symmetrie, wobei die Maxima der intrinsischen Doppelbrechung sich für Lichtstrahlen ergeben, deren Strahlrichtung mit den (101)-, (110)-, (10-1)- und (1-10)-Kristallrichtungen (vgl. Figur 3) zusammenfallen,  
30 also für Lichtstrahlen mit einem Öffnungswinkel Theta von 45 Grad und einem Azimutwinkel Alpha von 0 Grad, 90 Grad, 180 Grad und 270 Grad. Die intrinsische Doppelbrechung verschwindet (vgl. Figur 3) bei einem Öffnungswinkel von 0 Grad, d. h. eine Strahlrichtung längs der optischen  
35 Achse des Projektionsobjektivs 6 in (100)-Kristallrichtung.

Als maximale intrinsische Doppelbrechung (Strahlausbreitung z.B. in (110)-Kristallrichtung, d.h. Theta gleich 45 Grad, Alpha gleich 90 Grad) wurde ein Wert von (11,0 +/- 0,4) 05 nm/cm bei einer Wellenlänge von 156,1nm für  $\text{CaF}_2$  gemessen.

Bei den Azimutwinkeln, bei denen eine intrinsische Doppelbrechung auftritt (vgl. Figur 5), nimmt diese für Öffnungswinkel kleiner als 45 Grad mit dem Öffnungswinkel kontinuierlich ab (vgl. Figur 3). 10

Neben diesen intrinsischen Beiträgen zur Doppelbrechung weisen die Linse 9 und die optische Platte 10 abhängig von ihrer Einbausituation in der Projektionsoptik 6 15 zusätzliche Spannungsdoppelbrechungsbeiträge auf, die sich zur intrinsischen Doppelbrechung addieren. Weitere Doppelbrechungsbeiträge können sich zum Beispiel durch Kristallfehler, insbesondere durch die Ausbildung von Domänen, ergeben. Nicht intrinsische Doppelbrechungsbeiträge können auch bei optischen Materialien vorliegen, 20 die keine intrinsische Doppelbrechung aufweisen.

Ein Verfahren zur Optimierung der Abbildungseigenschaften der Projektionsoptik 6 wird folgendermaßen durchgeführt: 25

Zunächst werden die optischen Störgrößen aller optischen Elemente der Projektionsoptik 6 einzeln ermittelt. Derartige Messverfahren zur Bestimmung einerseits der oben beschriebenen Doppelbrechungsbeiträge als Beispiel für 30 polarisationsabhängige Störgrößen und andererseits polarisationsunabhängiger Störgrößen sind dem Fachmann bekannt. Hierzu kann zum Beispiel, wie dies durch den Sensor 11 in Figur 1 angedeutet ist, eine Messung der Gesamtabbildungseigenschaften der Projektionsoptik 6 bei verschiedenen 35 Justagezuständen der Projektionsoptik 6 erfolgen.

Alternativ oder zusätzlich können mit Hilfe bekannter Messverfahren die einzelnen optischen Elemente der Projektionsoptik 6 unabhängig voneinander vermessen werden.

- 05 Hierbei muss darauf geachtet werden, dass die Einbausituation der optischen Elemente in der Projektionsoptik 6 während dieser unabhängigen Vermessung möglichst präzise simuliert wird, so dass bedingt durch den Einbau der optischen Elemente in die Projektionsbelichtungsanlage  
10 1 nicht zusätzliche Störbeiträge entstehen, die die Optimierung der Abbildungseigenschaften der Projektionsoptik 6 beeinträchtigen.

- Die Bestimmung der Doppelbrechungsbeiträge kann zum  
15 Beispiel die Lagebestimmung der Kristallachsen der vermessenen optischen Elemente, soweit es sich um Kristallmaterialien handelt, umfassen.

- Die Messergebnisse werden vom Rechner 14 ausgewertet.  
20 Dieser ermittelt die jeweiligen Störgrößenbeiträge der einzelnen optischen Elemente der Projektionsoptik und ordnet diese Beiträge den einzelnen polarisationsabhängigen und polarisationsunabhängigen Störgrößen zu. Anschließend berechnet und optimiert der Rechner 14 eine Zielfunktion  
25 (Meritfunktion). In diese Zielfunktion gehen die Abhängigkeiten der Störgrößenbeiträge aller optischen Elemente von den Bewegungsfreiheitsgraden dieser optischen Elemente (Verdrehung, Neigung, Zentrierung) ein.

- 30 Im dargestellten Ausführungsbeispiel erfolgt diese Berechnung für die optischen Komponenten 9 und 10:

- Wie oben ausgeführt, ist die Linse 9 gegenüber der optischen Platte 10 um die optische Achse verdrehbar. Nach  
35 der Vermessung der Störgrößenbeiträge liegen für die Linse



9 und die optische Platte 10 ihre jeweiligen Beiträge zu den polarisationsabhängigen und den polarisationsunabhängigen Störgrößen vor. Die Meritfunktion enthält neben den Störgrößen der Linse 9 und der optischen Platte 10 auch  
05 die Abhängigkeit der Störgrößenbeiträge der Linsen 9 von der Verdrehung von dieser um die optische Achse.

Anschließend wird die Meritfunktion durch Variation der Bewegungsfreiheitsgrade der beweglichen Teile der Projektionsoptik 6 optimiert. Bei der Ausführung gemäß Figur 1  
10 wird die Meritfunktion bei jeder Drehposition des verdrehbaren Teils 7 der Projektionsoptik 6 ausgewertet. Anschließend wird diejenige Drehposition ermittelt, in der die Meritfunktion den optimalen Wert aufweist.

15 Schließlich werden die beweglichen optischen Elemente in die ermittelte Zielposition gefahren. Bei der Ausführung nach Figur 1 wird der verdrehbare Teil 7 mit der Linse 9 in die ermittelte Zielposition gedreht.

Patentansprüche

=====

05

1. Verfahren zur Optimierung der Abbildungseigenschaften  
von mindestens zwei optischen Elementen, bei dem  
die relative Lage der optischen Elemente zur Optimierung  
der optischen Abbildung zueinander eingestellt wird,  
10 mit folgenden Verfahrensschritten:

- a) Bestimmen einer polarisationsabhängigen Störgröße  
für mindestens ein optisches Element (9, 10);
- 15 b) Berechnen einer Zielposition mindestens eines beweg-  
lichen optischen Elements (9) aus den Störgrößen,  
die für dieses und für das mindestens eine weitere  
optische Element bestimmt wurden,
- 20 c) Bewegen des beweglichen optischen Elements (9) in  
die Zielposition;

dadurch gekennzeichnet, daß

25 das Berechnen der Zielposition derart erfolgt, daß in der  
Zielposition die Gesamtstörgröße aller optischen Elemente  
(9, 10), zusammengesetzt aus polarisationsabhängigen und  
polarisationsunabhängigen Störgrößen, minimiert ist.

30 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass unter den polarisationsabhängigen Störgrößen die  
Spannungsdoppelbrechung ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,  
35 dass das mindestens eine optische Element (9, 10),

dessen polarisationsabhängige Störgröße bestimmt wird,  
aus einem Kristallmaterial besteht und dass das Bestimmen  
der aus der Spannungsdoppelbrechung resultierenden  
Störgröße das Bestimmen der Lage mindestens eine Kristall-  
05 achse umfasst.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine  
bewegliche optische Element (9) um seine optische Achse  
10 verdrehbar ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine  
bewegliche optische Element relativ zu den anderen opti-  
15 schen Elementen linear verlagerbar ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,  
dass das bewegliche optische Element quer zur optischen  
Achse verlagerbar ist.

20

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch  
gekennzeichnet, dass das bewegliche optische Element  
gegenüber der optischen Achse verkippar ist.

25 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung der  
polarisationsabhängigen Störgröße am gefassten optischen  
Element erfolgt.

30 9. Photolithographisches Fertigungsverfahren für Halb-  
leiterbauelemente unter Benutzung optischer Elemente,  
deren Abbildungseigenschaften mit einem Verfahren nach  
einem der vorhergehenden Ansprüche optimiert wurden.

35 10. Photolithographisches Fertigungsverfahren nach Anspruch  
9, gekennzeichnet durch eine Projektionsbelichtung  
mit einer Wellenlänge, die geringer ist als 200 nm.

## Zusammenfassung

=====

05

Bei einem Verfahren zur Optimierung der Abbildungseigenschaften von mindestens zwei optischen Elementen (9, 10), bei dem die relative Lage der optischen Elemente (9, 10) zur Optimierung der optischen Abbildung zueinander eingestellt wird, werden folgende Verfahrensschritte durchgeführt: Zunächst wird eine polarisationsabhängige Störgröße für mindestens ein optisches Element (9, 10) bestimmt. Anschließend wird eine Zielposition mindestens eines beweglichen optischen Elements (9) aus der für dieses bestimmten Störgröße und den Störgrößen der weiteren optischen Elemente berechnet. In welcher dieser Zielposition ist die Gesamtgröße aller optischen Elemente (6), zusammengesetzt aus polarisationsabhängigen und polarisationsunabhängigen Störgrößen, minimiert. Schließlich

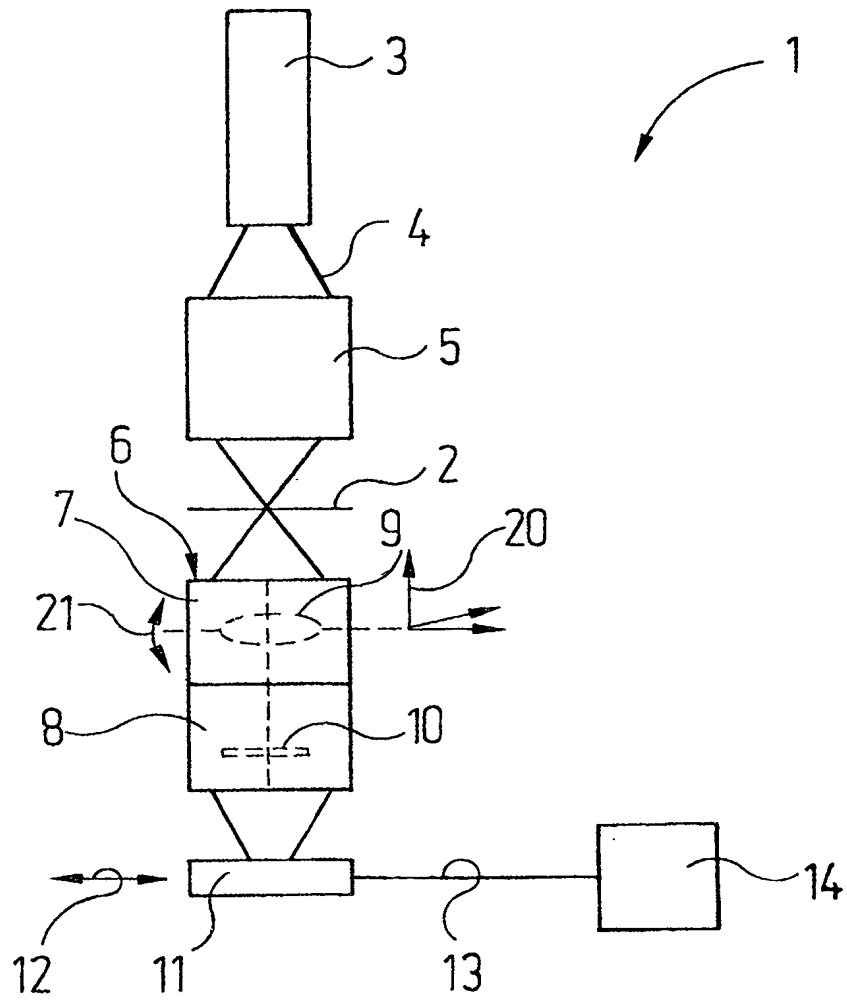
10 stellt wird, werden folgende Verfahrensschritte durchgeführt: Zunächst wird eine polarisationsabhängige Störgröße für mindestens ein optisches Element (9, 10) bestimmt. Anschließend wird eine Zielposition mindestens eines beweglichen optischen Elements (9) aus der für dieses

15 bestimmten Störgröße und den Störgrößen der weiteren optischen Elemente berechnet. In welcher dieser Zielposition ist die Gesamtgröße aller optischen Elemente (6), zusammengesetzt aus polarisationsabhängigen und polarisationsunabhängigen Störgrößen, minimiert. Schließlich

20 wird das bewegliche optische Element (9) in die Zielposition bewegt. Die Berücksichtigung der polarisationsabhängigen Störgröße gewährleistet eine präzise Modellierung der Abbildungseigenschaften, welche die Voraussetzung für eine exakte Optimierung ist.

25

(Figur 1)

Fig. 1

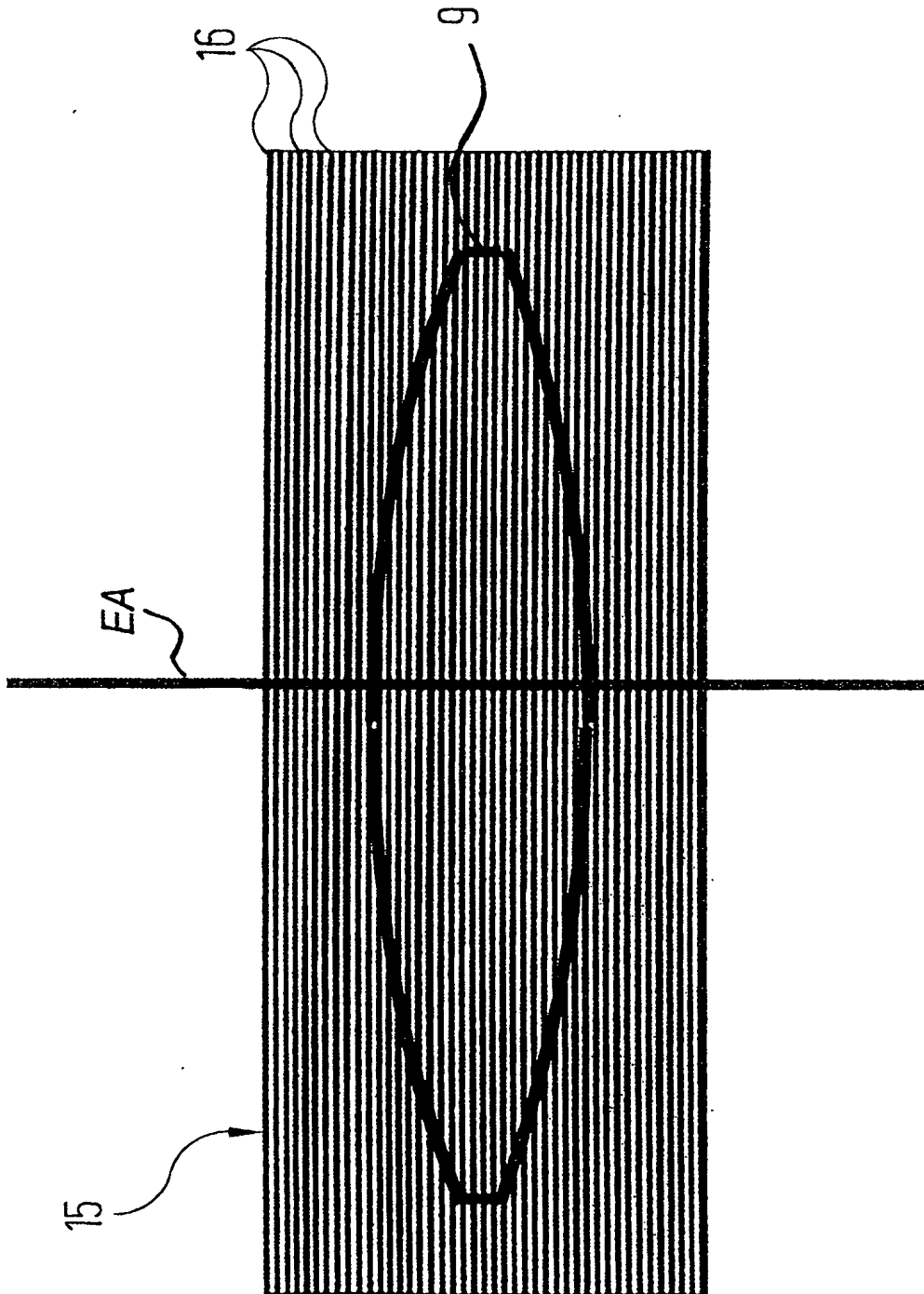


Fig. 2

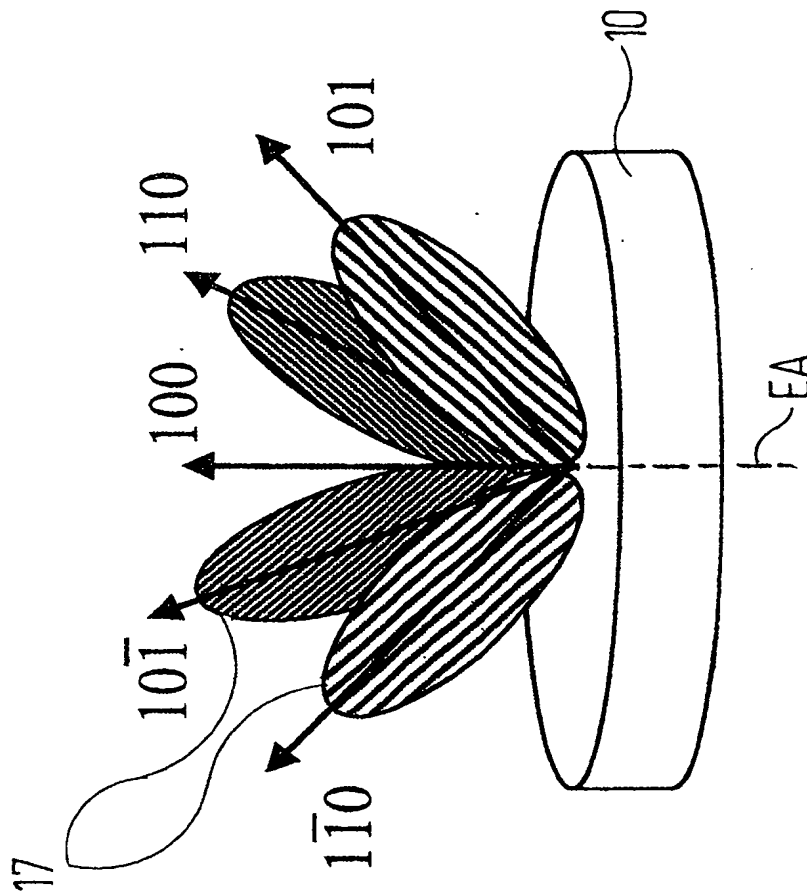
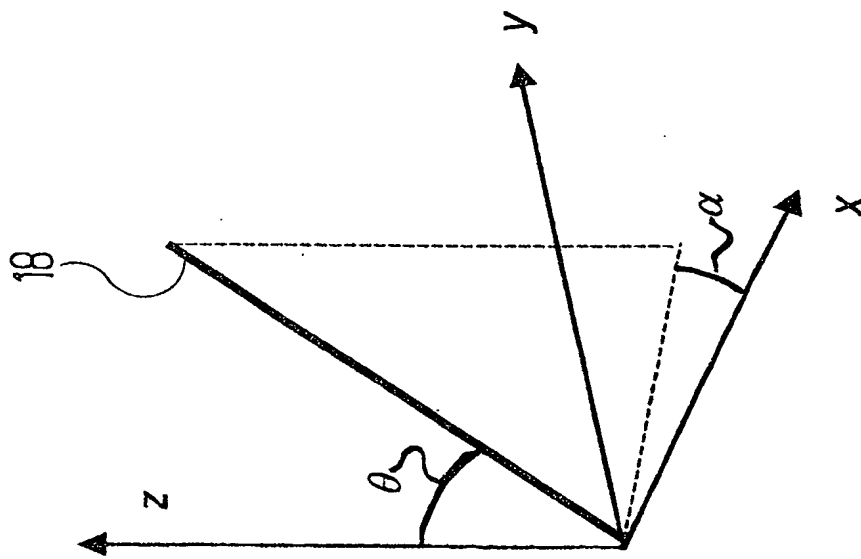


Fig. 3

Fig. 4



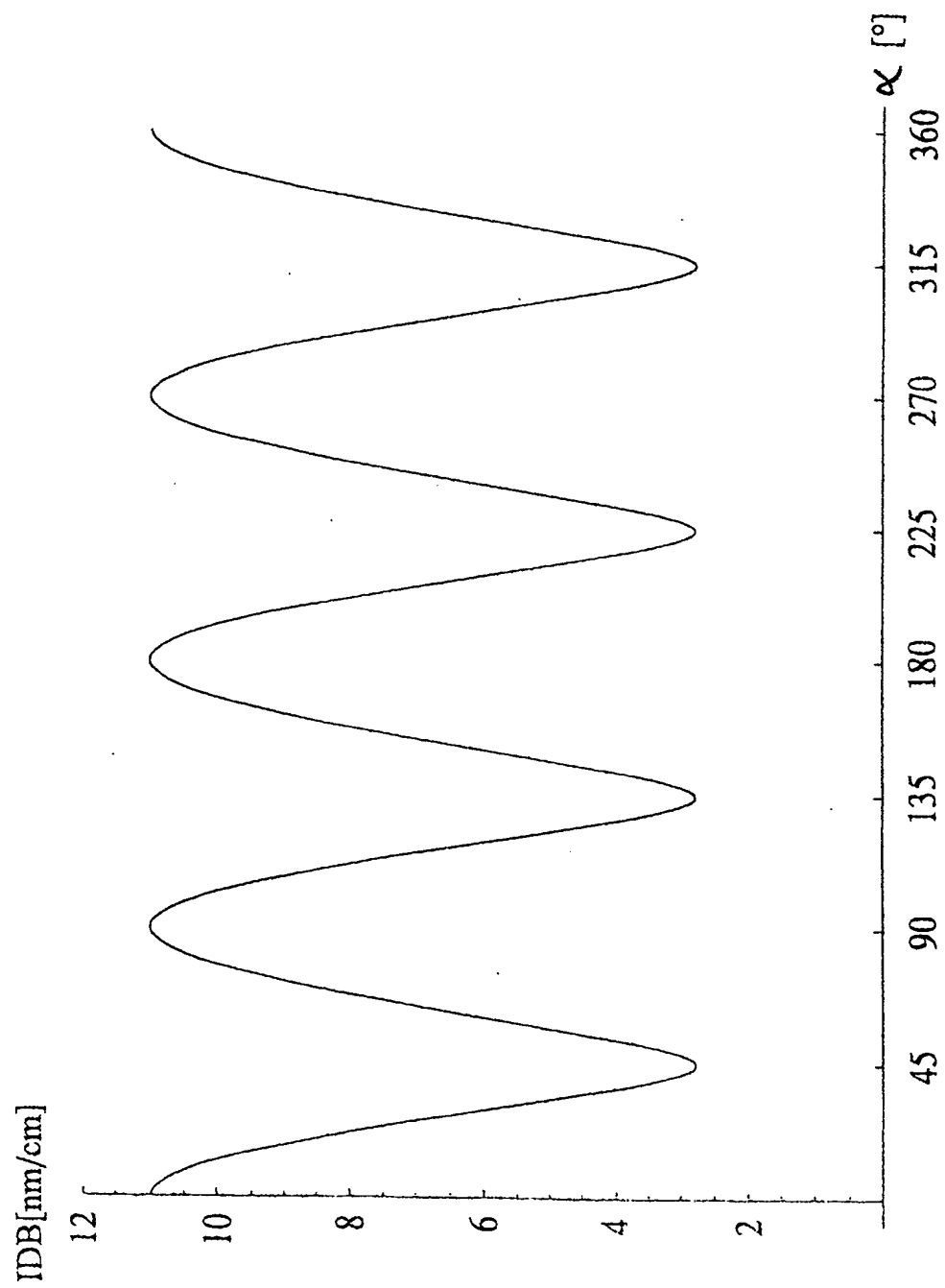


Fig.5